

V2376

H. Potente, J. Flecke,
Paderborn, und M. Blach,
F. Vorberg, Lauffen

XP-000765242

Mischelemente in neuen Geometrien

Sonder- und Mischelemente
bei Gleichdrall-Doppelschneckenextrudern

p. 494-496+498-499 = (5)

p.d. 04-1998

Weiterentwicklungen bei dichtkämmenden Gleichdrall-Doppelschneckenextrudern stellen höhere Anforderungen an das Prozeßverhalten der Schneckenelemente. Bei der Analyse von Sonderbauformen von Knetblöcken und von Zahnmischelementen wurde speziell das Druck- und Temperaturverhalten untersucht. Die Änderung der rheologischen Eigenschaften als Folge der Materialbelastung wird in die Analyse der Misch- und Sonderelemente mit einbezogen.

Mixing Elements with New Geometries. Advances in the design of tightly intermeshing co-rotating twin-screw extruders have resulted in greater demands on the performance of screw elements. When analyzing special designs for kneading elements and multi-tooth mixing elements, the pressure and temperature behaviours specifically were investigated in detail. The change in rheological properties as a consequence of the load placed on the material during processing is taken into consideration in the analysis of these special and mixing elements.

In den letzten Jahren sind die Anforderungen an das Produkt Kunststoff und damit auch an die Maschinen zur Aufbereitung der Kunststoffe ständig gestiegen. Durch Neuentwicklungen bei dichtkämmenden Gleichdrall-Doppelschneckenextrudern im Bereich der Antriebseinheit und der übertragbaren Drehmomente können heute wesentlich höhere Durchsatzleistungen bei Drehzahlen bis über 1000 min⁻¹ realisiert werden [1 bis 3]. Weiterhin ergeben sich aus der Weiterentwicklung von dichtkämmenden Gleichdrall-Doppelschneckenextrudern als zentrale Maschineneinheit im Bereich der Kunststoffaufbereitung neue Anforderungen an das Prozeßverhalten der eingesetzten Schneckenelemente. Bei der Auslegung und Optimierung dieser Gleichdrall-Doppelschneckenextruder wird heute auch aufgrund veränderter Verfahrensbedingungen oftmals auf spezielle Knet- und Mischelemente zurückgegriffen.

Ziel: Hoher Durchsatz

Diese Entwicklung zieht die Nachfrage nach neuen Geometrien mit erhöhter Aufschmelz- und Homogenisierungsleistung nach sich. Aus diesem Grund soll im folgenden eine Untersuchung zum Prozeßverhalten neuentwickelter Schneckenelemente beschrieben werden. Hier-

bei geht es im wesentlichen um das Prozeßverhalten im Hinblick auf den Druckverlauf und die Temperaturentwicklung. Weiterhin wird die Materialschädigung mit in die Betrachtung einbezogen, da durch hohe Drehzahlen verbunden mit hohen Schergradienten in der Schmelze dieser Aspekt an Bedeutung gewinnt. Auch hier ergeben sich durch neue Geometrien Möglichkeiten, diesem oftmals nachteiligen Effekt entgegenzuwirken. Als Materialien wurden – um ein möglichst breites Spektrum abzudecken – ein Polyethylen (Lupolen 1810D), ein Polyamid (Ultramid B3) und ein PBT (Ultradur B4500). Hersteller: BASF AG eingesetzt. Gerade das untersuchte PBT neigt verstärkt zum thermischen Abbau und dient somit der Analyse hinsichtlich einer Materialbelastung [4 bis 8].

Neue Schneckenelemente ...

Für die Untersuchung sind drei Elementtypen ausgewählt worden:

- sogenannte Schulterknetblöcke,
- Sonderbauformen dreigängiger Knetblöcke und
- Zahnmischelemente.

Bei den Schulterknetblöcken handelt es sich um eine Entwicklung der Blach Verfahrenstechnik GmbH, Lauffen, bei der die Geometrie eines konventionellen Knetblocks (Bild 1 rechts) abge-



Bild 1: Modifizierter Schulterknetblock (links) im Vergleich zum zweigängigen konventionellen Knetblock (rechts) bei einem Versatzwinkel von 45°

wandelt worden ist [9]. Die Knetschneckenbreite wird hierbei reduziert und die Geometrie in Abhängigkeit vom Versatzwinkel an die Vorschneibe angepaßt (Bild 1 links), um so definierte U-Berströmflächen zu schaffen.

Bei den dreigängigen Knetblocken ist eine exzentrische Bauform eingesetzt worden, bei der die symmetrische Geometrie bestehen bleibt (Bild 2 links). Die zum Vergleich verwendete Bauform eines dreigängigen Knetblocks basiert auf der Idee, die Kammbreite aber auch den Abstand zur Zylinderwand flexibel an die gewünschte Verfahrensaufgabe anzupassen [10] unter der Randbedingung einer dichtkammenden selbstreinigenden Bauform. In Bild 2 sind beide Geometrien im Vergleich dargestellt.

Die beiden untersuchten Geometrien der Zahnmischelemente unterscheiden sich im Winkel, unter dem die Nuten eingearbeitet sind, d.h. $+30^\circ$ und -30° zur Längsachse [1] (Bild 3).

... im Test

Für die Durchführung der Versuche wurde ein Gleichdrall-Doppelschneckenextruder vom Typ DSC 45 der Blach Verfahrenstechnik eingesetzt. Der Schneckendurchmesser beträgt 45 mm bei einem Achsabstand von 37,5 mm und einer Länge der Verfahrenseinheit von 36 D.

Simulation des Aufschmelzverhaltens

In Bild 4 ist der Versuchsaufbau mit der Schnecken- und Zylinderkonfiguration sowie den Meßstellen dargestellt. Die Konzeptionierung des Meßaufbaus als auch die Auslegung der Schneckenengeometrie standen unter dem Aspekt einer Versuchsführung mit möglichst konstanten Randbedingungen. Hierbei mußte sichergestellt werden, daß das Material vor der Meßzone vollständig plastifiziert und thermisch homogenisiert vorlag. Für die Auslegung wurden zuvor die Materialeigenschaften der Versuchsmaterialien ermittelt und mit der Simulationssoftware Sigma [11 bis 13] das Aufschmelzverhalten für die drei Materialien nachgestellt.

Druck und Schmelzetemperatur

Die Meßzone selbst unterliegt der Anforderung, daß die Schneckenelemente voll gefüllt und die Druck- und Schmelzetemperaturentwicklung gemessen werden kann. Um eine Voll-Füllung zu gewährleisten, wurden rückfördernde

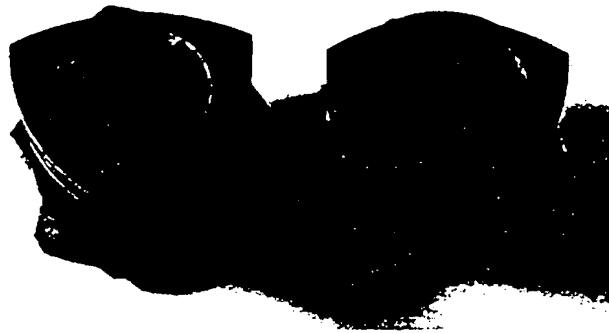


Bild 2: Dreigängige Knetblocke: exzentrische Bauform (links) und selbstreinigende Bauform der Blach-Verfahrenstechnik (rechts)



Bild 3: Geometrie der untersuchten Zahnmischelemente

Schneckenelemente als Abstauung eingesetzt. Weiterhin sind vor und nach den zu untersuchenden Elementen Distanzhülsen von 10 mm Länge angeordnet. Hierdurch konnte die Massetemperatur mittels Thermoelement direkt in der Schmelze gemessen werden. Der Druckgradient wurde innerhalb der Meßzone mit Druckaufnehmern ermittelt (Bild 4), um Ein- und Auslaufeffekte zu vermeiden.

Stationäres Temperaturniveau

Weiter wurde der Einfluß der Zylinderwandtemperierung dadurch unterdrückt, daß, sobald die Betriebstemperatur für den entsprechenden Versuch erreicht war, die Zylindertemperierung in der Meßzone abgeschaltet wurde. Anhand des kontinuierlich aufgezeichneten Temperaturverlaufs ließ sich erkennen, wann der Prozeß ein stationä-

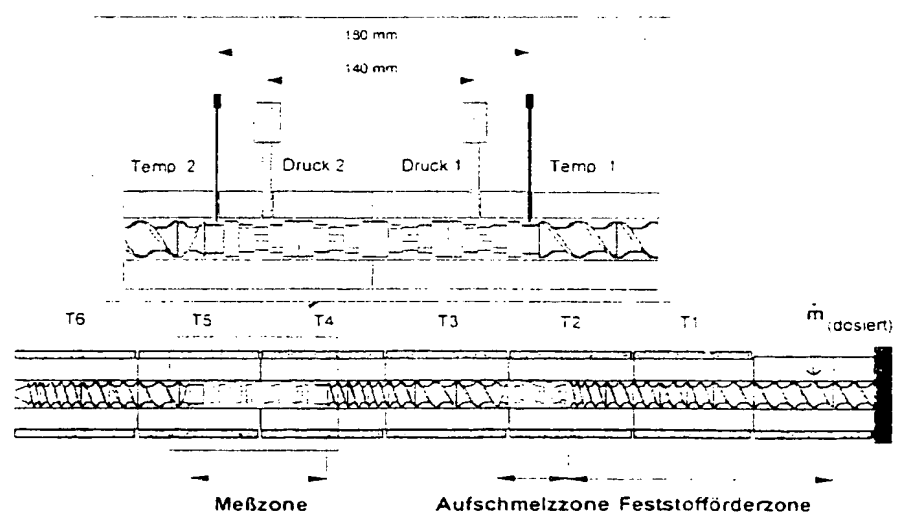


Bild 4: Versuchsaufbau mit eingesetzter Schnecken- und Zylinderkonfiguration

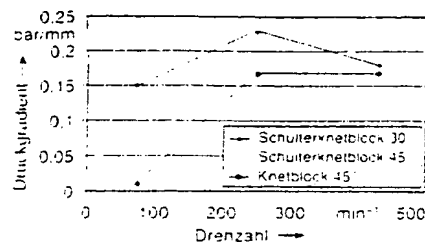


Bild 5 Druckgradient fördernder Knetblöcke bei konstantem Massedurchsatz von 55,5 kg/h PE

res Temperaturniveau erreicht hat. Zu diesem Zeitpunkt wurden alle gemessenen Werte und alle am Schalter des Extruders angezeigten Betriebsdaten festgehalten.

Bei den Versuchen mit PBT wurde außerdem eine Extrudatprobe für spätere Untersuchungen gezogen.

Schulterknetblöcke

Das Verhalten des Prozeßverhaltens der Schulterknetblöcke soll im Vergleich mit konventionellen Knetblöcken erfolgen. In den Versuchsreihen wurden Schulterknetblöcke mit -30° , -45° , -45° und -30° Versatzwinkel eingesetzt. Zum Vergleich wurden Versuche mit konventionellen zweigängigen Knetblöcken mit -45° und -45° Versatzwinkel durchgeführt.

Schonende Plastifizierung

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Bild 5 bis 8 dargestellt. Man erkennt deutlich, daß die Schulterknetblöcke durch große Leckströme aufgrund der fehlenden Kammabgrenzung sowohl im fördernden als auch im rückfördernden Fall deutlich geringere Druckgradienten ausbilden. Hieraus ergeben sich lange vollgefüllte Bereiche, z.B. beim Einsatz in der Aufschmelzzone in Verbindung mit einer guten Quervermischung.

Der Vergleich ergibt weiterhin, daß das Druckaufbauverhalten der Schulterknetblöcke mit einem Versatzwinkel von 30° mit einem konventionellen Knetblock mit 45° nahezu identisch ist (Bild 5). In Bild 6 sind die Druckgradienten für die einzelnen Versuchsmaterialien in Abhängigkeit vom Massedurchsatz dargestellt. Man erkennt deutlich den Einfluß der Rheologieunterschiede auf das Fließverhalten in den jeweiligen Elementen. Beim PBT sind kaum noch Unterschiede zwischen einem konventionellen Knetblock und dem Schulterknetblock zu erkennen.

Geringe Temperaturbelastung

Neben den Druckgradienten sind auch die Temperaturgradienten im Rahmen der Untersuchung verglichen worden. Bild 7 dokumentiert den geringeren Energieeintrag der Schulterknetelemente im Vergleich zum konventionellen Knetblock. Dieser Effekt ist bei den rückfördernden Knetblöcken weniger ausgeprägt. Bestätigt werden diese Ergebnisse durch die Untersuchung des Zersetzungsgrads. Als Zersetzungsgrad wird hierbei die Änderung der Viskosität bei konstanten Randbedingungen

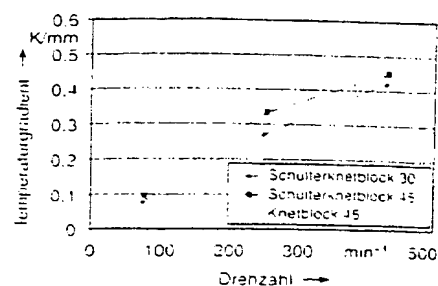


Bild 7 Temperaturgradient fördernder Knetblöcke bei konstantem Massedurchsatz von 55,5 kg/h PE

Dreigängige Knetblöcke

Die Analyse des Prozeßverhaltens der untersuchten dreigängigen Knetblöcke soll hier analog zur Analyse der zweigängigen Knetelemente erfolgen. Die Auftragung der Druckgradienten in Bild 9 bei einer konstanten Drehzahl von 250 min^{-1} für die unterschiedlichen Versuchsmaterialien dokumentiert, daß das Prozeßverhalten beider Knetblockgeometrien vollkommen unterschiedlich ist. Trotz vergleichbarer freier Querschnittsflächen hängt das Prozeßverhalten gravierend von der Schnittgeometrie, d.h. den Kammbreiten und den sich ergebenden Leckspalten ab. Hingegen zeigten sich beim Temperaturverhalten im Vergleich nur unwesentliche Unterschiede. Gleiches ergab sich bei der Untersuchung zum Zersetzungsgrad, wo keine eindeutigen Tendenzen zu erkennen waren.

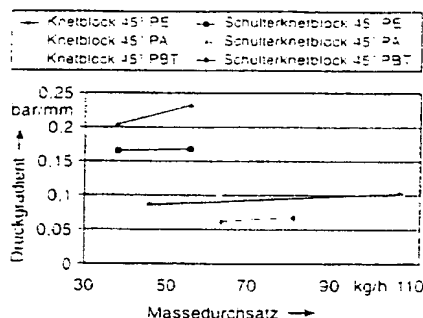


Bild 6 Vergleich fördernder zweigängiger Knetblöcke bei konstanter Drehzahl von 250 min^{-1}

als Folge der Verarbeitung definiert. Bild 8 zeigt, daß die Schulterknetblöcke das Material deutlich weniger beanspruchen.

Drehzahl ist entscheidend

Bei genauer Analyse der Ergebnisse stellt man fest, daß für die Zersetzung als Folge der Verarbeitungsvorgeschichte der Temperaturgradient (Bild 7) in Verbindung mit der Verweilzeit in der Meßzone entscheidenden Einfluß hat. Beide sind abhängig von der Drehzahl, die sich somit als entscheidender Parameter herausstellt.

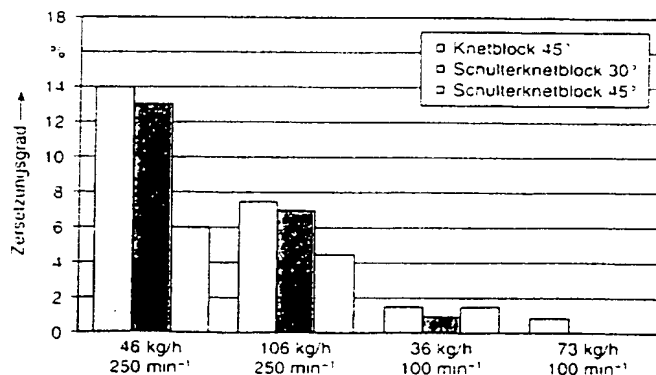


Bild 8 Zersetzungsgrad von PBT (zweigängige Knetelemente)

Zahnmischelemente

Beim Vergleich der beiden Geometrien von Zahnmischelementen ergaben sich die in Bild 10 dargestellten Ergebnisse. Bei der Untersuchung wurden die Mischelemente auf beiden Schnecken mit der gleichen Geometrie, sprich dem gleichen Versatzwinkel zwischen den Mischzähnen, angeordnet. In der Praxis werden die Zahnmischelemente oftmals

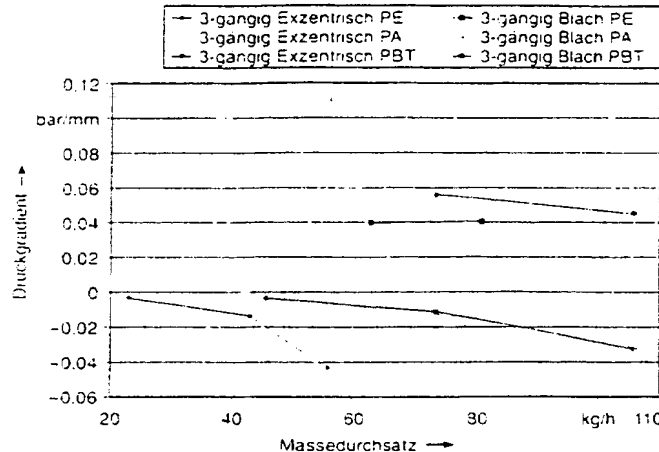


Bild 9: Vergleich dreigangiger Knetblöcke bei konstanter Drehzahl 250 min⁻¹

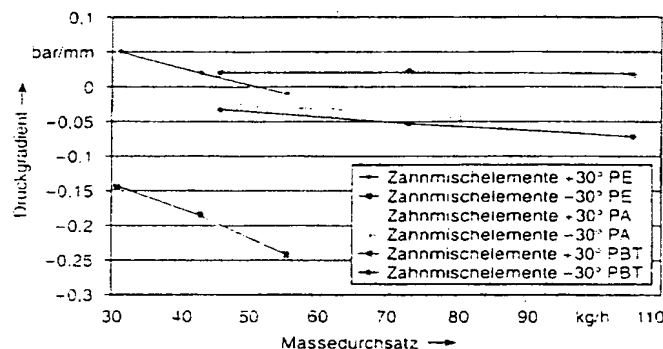


Bild 10: Vergleich von Zahnmischemententeilen bei konstanter Drehzahl 250 min⁻¹

mit unterschiedlichem Versatz eingesetzt.

Bild 10 zeigt deutlich, daß der Nutwinkel einen wesentlichen Einfluß auf das Druckverhalten ausübt – trotz der geometriebedingten geringen Eigenförderung der Zahnmischemententeile. Weiterhin wird hierbei der starke Einfluß der rheologischen Materialeigenschaften auf das Prozeßverhalten deutlich.

Unterschiede erst bei hohen Drehzahlen

Bei der Temperaturentwicklung zeigen sich ebenfalls Unterschiede für beide Geometrien. Die Geometrie mit dem

positiven Zahnversatz und somit fördernder Wirkung hat einen größeren Temperaturgradienten. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zur Analyse der Materialschädigung in Bild 11. Denn hier ist die fördernde Variante die schonendere, was durch das insgesamt höhere Temperaturniveau beim rückfördernden Modell zu erklären ist. Allerdings treten meßbare Unterschiede erst bei höheren Drehzahlen auf. Bei niedrigen Drehzahlen in Verbindung mit großen Massedurchsätzen konnten keine Unterschiede im Zersetzungsgrad und auch keine Veränderung der Viskosität als Maß für die Zersetzung erkannt werden.

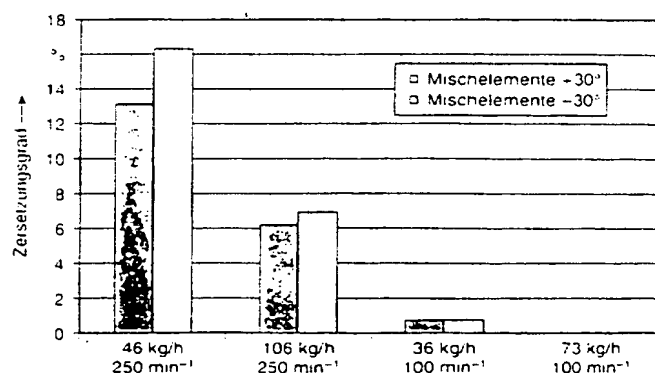


Bild 11: Zersetzungsgrad in einem Zahnmischemententeile (PBT)

Aspekte für die Zukunft

Die beschriebene Untersuchung verdeutlicht, daß durch die Auswahl der Elementart in Verbindung mit geometrischen Größen das Prozeßverhalten eines Gleichdrall-Doppelschneckenextruders maßgeblich beeinflußt werden kann. Für die Auslegung einer Aufbereitungsmaschine ist aus diesem Grund die genaue Kenntnis des Prozeßverhaltens einzelner Elemente in Verbindung mit einer mathematischen Beschreibung von entscheidender Bedeutung. Erst die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse einer derartigen Untersuchung über eine geeignete Modellierung in einer Simulationssoftware macht eine systematische Auslegung möglich.

Simulation erweitern

Die eingesetzte Simulationssoftware Sigma [11 bis 13] ist aufbauend auf den Erkenntnissen dieser Untersuchung hinsichtlich der möglichen Elementgeometrien um Schulterknetelemente und exzentrische Knetelemente erweitert worden. Die Entwicklung einer Beschreibung für Zahnmischemententeile ist aufgrund der geometrischen Komplexität im Rahmen einer weiteren Projektphase geplant.

Hohe Drehzahlen beachten

Eine wesentliche Erkenntnis dieser umfassenden Untersuchung ist weiterhin, daß der Zersetzungsgrad erst bei höheren Drehzahlen quantifiziert werden konnte. Gerade aufgrund der Tendenz zu schnelllaufenden Aufbereitungsextrudern darf diese Erkenntnis bei der Auslegung nicht vernachlässigt werden. Auch hierbei kann über geeignete Auswahl der Geometrie vom auslegenden Ingenieur eingegriffen werden. Eine genaue Analyse und Quantifizierung der Einflußfaktoren war im Rahmen dieser Untersuchung nicht möglich. Zukünftige Untersuchungen sollten diesen Aspekt in die Analyse mit einbeziehen.

Für die Bereitstellung der Versuchsmaterialien möchten wir uns an dieser Stelle bei der BASF AG bedanken.

Literatur

1. N.N.: Der Doppelschneckenextruder – Grundlagen und Anwendungsgebiete. VDI Verlag, Düsseldorf 1995
2. Hensen, F.; Knappe, W.; Potente, H. (Hrsg.): Handbuch der Kunststoffextrusionstechnik – Extrusionsanlagen. Band 2. Hanser, München 1986
3. Kapfer, K.; Häring, E.; Heidemeyer, P.: Wirtschaftlicher compoundieren – Ausle-

- gungskriterien für Doppelschneckenknet-
er. Kunststoffe 36 (1996) 7, S. 1011-1014
4. Lupolen. Firmenschrift der BASF AG,
Ludwigshafen 1996
5. Ultradur. Firmenschrift der BASF AG,
Ludwigshafen 1996
6. Ultramid. Firmenschrift der BASF AG,
Ludwigshafen 1996
7. *Domittinghaus, H.* Die Kunststoffe und
ihre Eigenschaften 4. Aufl. VDI Verlag,
Düsseldorf 1992
8. *Oberbach, K.* (Hrsg.) Kunststoff Taschen-
buch. 26. Aufl. Hanser München 1995
9. EU-PS 0422272 B1. Schulterknetblock
(1994) Blach, J.
10. DE-PS 4239220 A1. Dreigängiger Knet-
block (1994) Blach, J.
11. *Potente, H., Melisch, U., Flecke, J.* Sigma
- Rechnergestützte Prozesssimulation
dichtkammernder Gleichdrall-Doppel-
schneckenextruder - Teil 1. Plastics No. 1
(1995) 11-12
12. *Potente, H., Melisch, U., Flecke, J.* Sigma
- Rechnergestützte Prozesssimulation
dichtkammernder Gleichdrall-Doppel-
schneckenextruder - Teil 2. Plastics No. 1
(1996) 1-2
13. *Potente, H., Flecke, J.* Auslegung eines
Compoundierextruders mit Hilfe der Si-
mulationssoftware Sigma. In: Optimie-
rung des Compoundierprozesses durch
Rezeptur- und Verfahrensverständnis.
VDI-Verlag, Düsseldorf 1997

Die Autoren dieses Beitrags

Prof. Dr.-Ing. *Helmut Potente*, geb. 1939, ist
seit 1980 Inhaber des Lehrstuhls für Kunst-

stofftechnologie (KTP) der Universität-GH
Paderborn.

Dipl.-Ing. *Jürgen Flecke*, geb. 1967, studierte
Maschinenbau mit dem Schwerpunkt Kunst-
stofftechnik an der Universität-GH Pader-
born. Er ist seit 1994 Mitarbeiter des KTP
und befaßt sich mit der Kunststoffaufberei-
tung.

Dipl.-Ing. *Markus Blach*, geb. 1966 studierte
Verfahrenstechnik mit Schwerpunkt Kunst-
stofftechnik an der Universität Stuttgart. Er
ist seit 1991 Geschäftsführer der Blach Ver-
fahrenstechnik GmbH in Lauffen.

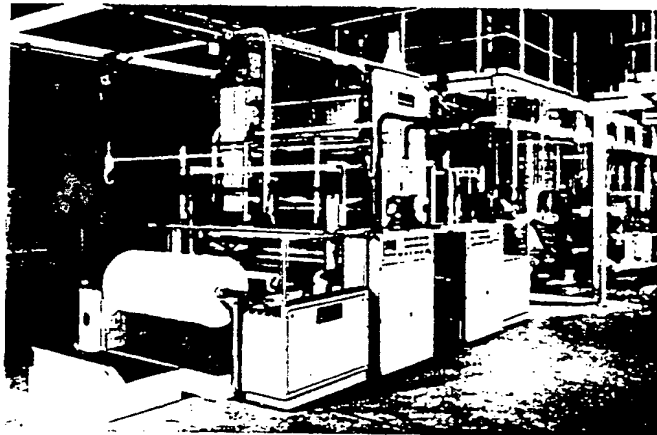
Dipl.-Ing. *Frank Vorberg*, geb. 1971, studierte
Maschinenbau mit dem Schwerpunkt Kunst-
stofftechnik an der Universität-GH Pader-
born. Er ist seit Februar dieses Jahres bei
der Blach Verfahrenstechnik GmbH in Lauf-
fen tätig. (101009)

Blasfolien-Wickler paßt sich dem Produkt an

Leistungsfähige Folienwickler gehören
zu einer fortschrittlichen Blasfolien-Ex-
trusion im Hinblick auf eine reibungs-
lose Weiterverarbeitung der Folien.
Die Universal-Folien-Automatik (UFA)
Wickler der Serie III von Reifenhäuser,
Troisdorf, haben eine variable Grund-
ausrüstung, die durch einen modularen
Aufbau dem Folienprodukt angepaßt
ist. So wird z.B. ein Wickler für
PE-HD-Folie für max. Geschwindigkei-
ten bis zu 250 m/min ausgelegt. Wäh-
rend der Wickler für Sackfolie mit ge-
ringerer Geschwindigkeit, aber mit
Rollendurchmessern bis max. 1500 mm
ausgestattet ist.

Mit der neuen Antriebs- und Rege-
lungstechnik lassen sich wesentlich grö-
ßere Drehzahlverhältnisse als bisher
realisieren. Aufgrund wartungsfreier
Servo-Antriebe läuft ein Wickler, der
für eine max. Geschwindigkeit von
250 m/min ausgelegt ist, auch mit nur
10 m/min noch absolut konstant. Außer-
dem sind sehr geringe Andrucke und
genaueste Bahn- und Wickelzüge ge-
währleistet.

Der Wickler verfügt wahlweise über
die Wickelarten Kontakt, Kontakt mit
Andruckregelung und Zentralantrieb
sowie Spaltwicklung. So können selbst
hochempfindliche Verbundfolien mit
höchster Wickelqualität bis zu einem
Rollendurchmesser von 1200 mm bzw.
max. 1500 mm produziert werden. Die
Umschaltung der Wickelarten kann je
nach gewünschter Qualität während der
Produktion erfolgen.



UFA-Wickler der
Serie III in einer Men-
schenricht-Blasfolien-
anlage

Bei diesem Wickler werden stan-
dardmäßig Wickelwellen aus Stahl
(3 Zoll) und Aluminium (6 Zoll) mit un-
terschiedlichen Wickelhülsen einge-
setzt, wobei sich der Wickler den ver-
schiedenen Hulsendurchmessern und
der Spalteinstellung automatisch an-
paßt. Spezielle Systeme zum Wickel-
wellenhandling sind kombinierbar, so
daß u.a. Wickel und Wickelwellen au-
tomatisch gezogen werden und nach
der Bestückung wieder mit Hebevor-
richtungen in den Wickler transportiert
werden können.

Durch die Modul-Bauweise kann
der Wickler in verschiedenen Varianten
sowohl als Einstellenwickler wie auch
als Tandemwickler ausgelegt und im
späteren Verlauf umgebaut werden.
Die Nachrüstung von Zusatzeinrichtun-

gen, z.B. Presseurwalze, Schneidstation
oder Entladestation ist jederzeit mög-
lich. Weitere Optionen sind: Chan-
gierende Schneideinrichtungen zur Ver-
meidung des Kantenaufbaus sowie
Hilfsabzüge für Klebefolien zum Tren-
nen der Flachbahnen bei stark kleben-
den Folien.

Der Wickler erlaubt eine Umkehr
der Drehrichtung (Rechts-Links-Lauf).
Hiermit läßt sich die Lage der vorbe-
handelten Seite auf dem Wickel än-
dern, ohne eine aufwendige Vorbe-
handlung zu installieren oder die ge-
samte Wickelstelle drehen zu müssen.
Die Angebotspalette der neuen Wick-
lergeneration UFA III ist für Folien-
breiten von 700 bis 3300 mm und für
Foliedicken von 6 bis 250 µm ausge-
legt. (301057)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)